نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۸، ص ۲۰۸-۱۹۵

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 1, Spring - Summer 2019, p. 195-208

پتانسیل‌سنجی و بررسی خصوصیات و پارامترهای انرژی باد
مطالعه موردی: شهرستان دهلران

احمد امیدی[1]*- رضا علیمردانی[2]- مجید خانعلی[3]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۷/۲۳

چکیده

تعیین پتانسیل انرژی باد، اولین گام در مسیر مهار انرژی نهفته در آن محسوب می‌شود. در این تحقیق از اطلاعات باد منطقه دهلران با فواصل زمانی سه ساعته، استفاده گردید و برای پیش‌بینی احتمال وقوع سرعت‌های مختلف باد و نیز پتانسیل توان باد، از توابع ویبول و رایلی استفاده شد. بررسی میانگین سالانه سرعت باد طی دوره ده ساله نشان داد که در این مدت تغییرات میانگین سرعت دارای نوسان اندکی بوده و در ارتفاع ۸۰ متری به ۵ ms^{-1} رسیده است. بر اساس نتایج به‌دست آمده، بیشترین چگالی انرژی ماهیانه باد مربوط به ماه‌های گرم سال بود و در ارتفاع ۸۰ متری به ۳۱۲wm^{-2} در ماه ژوئن رسید. همچنین بیشترین میانگین سرعت ماهانه ۴/۶۲ و کمترین مقدار آن ۲/۲۴۱ ms^{-1} به‌ترتیب در ماه ژوئن ۲۰۰۵ و نوامبر ۲۰۰۶ بود. به‌طور کلی، ماه‌های گرم سال به‌صورت معنی‌داری میانگین سرعت بیشتر و انحراف استاندارد کمتری نسبت به ماه‌های سرد سال داشته‌اند که می‌تواند بیانگر پتانسیل، ثبات و پایداری بالاتر انرژی در ایام گرم سال باشد. بررسی تغییرات روزانه، ماهانه و فصلی سرعت و نیز توان باد نشان داد که بیشترین چگالی انرژی هرکدام به‌ترتیب در ساعات گرم روز، ماه ژوئن و فصل تابستان بوده است. لذا می‌توان گفت که پتانسیل بالای انرژی باد منطقه با اوج مصرف برق کشور که در طول روز، ماه‌های گرم سال و فصل تابستان رخ می‌دهد و گاهی اوقات منجر به خاموشی‌های ناخواسته می‌شود، تقارن زمانی داشته است. لذا با احداث مزارع بادی در این مناطق علاوه بر افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در سبد انرژی کشور می‌توان به پایداری و ثبات برق منطقه در ایام گرم سال کمک نمود. همچنین بررسی تغییرات جهت باد نشان داد که بیشترین فراوانی مربوط به جهت جنوب شرقی و سپس غربی و کمترین فراوانی باد در طی سال از سمت شمال شرقی و در مرتبه بعد شمالی بود.

واژه‌های کلیدی: انرژی باد، تابع توزیع ویبول، جهت باد، سرعت باد

مقدمه

رشد تقاضای انرژی، افزایش استانداردهای زندگی، گرم شدن بیش از حد کره زمین و مشکلات زیست‌محیطی و اکولوژیکی ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی به‌ویژه نفت و مشتقات آن، نگرانی‌هایی را در کشورهای مختلف ایجاد کرده است. محدودیت منابع انرژی‌های فسیلی، مشکلات زیست‌محیطی و ضرورت تنوع در سبد انرژی موجب گردید فعالیت‌های گسترده‌ای در سطح جهان به‌ویژه در کشورهای صنعتی به‌منظور استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر صورت گیرد. در بسیاری از کشورها اهداف راهبردی برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر تدوین و سیاست‌گذاری‌های لازم انجام‌شده است (Gabbasa *et al.*, 2013). باد یکی از پاک‌ترین و ارزان‌ترین انرژی‌های تجدیدپذیر است که مزایای استفاده از آن در تولید انرژی نسبت به سایر انرژی‌های تجدیدپذیر باعث توسعه سریع بازار انرژی بادی و به‌تبع آن، ارتقاء فناوری و رشد چشمگیر مطالعه کاربردی آن در میان جوامع پیشرفته جهان گردیده است. درواقع باد یکی از مظاهر انرژی خورشیدی و همان هوای متحرک است و پیوسته جزء کوچکی از تابش خورشید که از خارج به اتمسفر می‌رسد، به انرژی باد تبدیل می‌شود. در ایران، به‌عنوان اولین تمدنی که۹۰۰ سال قبل از میلاد از انرژی باد برای پمپ آب و خرد کردن دانه استفاده کرده است، فعالیت‌هایی در راستای تولید توان از منابع بادی در حال انجام است. در ایران، ظرفیت تولید ۱۰ هزار مگاوات برق از نیروگاه‌های بادی

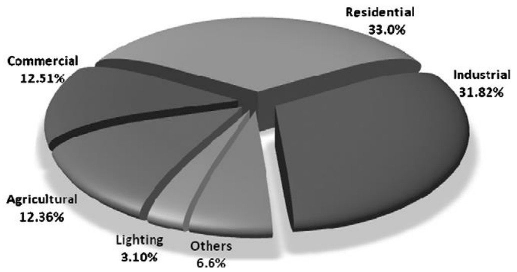
۱- دانشجوی دکتری مکانیک ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۲- استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
۳- استادیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران
(*- نویسنده مسئول: (Email: ahmad_omidi1391@ut.ac.ir
DOI: 10.22067/jam.v9i1.64905

پیش‌بینی شده است. ظرفیت نصب توربین جهت تولید انرژی برق بادی در ایران تا سال ۱۳۸۷ به ۱۲۸ مگاوات رسیده است (Sherbafian, 2008). در سال ۲۰۰۸ ایران با ۲۳ درصد رشد در رده سی و پنجم تولید برق بادی جهان قرار داشت. آمریکا، آلمان، اسپانیا، چین و هند با تولید ۲۰ هزار تا ۱۰ هزار مگاوات در رده‌های اول تا پنجم قرار داشتند (Global Wind Energy, 2009). با توجه به اهمیت استفاده از این منبع پایان‌ناپذیر و مزایای آن باید برنامه‌ریزی دقیقی برای شناخت پتانسیل‌های موجود در کشور جهت گسترش استفاده از این منبع انرژی صورت گیرد. هرچند ایران از پیشگامان استفاده از انرژی باد بوده است، اما هم‌اکنون استفاده از این انرژی در ایران بسیار محدود است و این در حالی است که این سرزمین از وجود مناطق بادخیز و مستعدی برخوردار است. پژوهش‌های متعددی در رابطه با امکان استفاده از پتانسیل انرژی باد در مناطق مختلف جغرافیایی بر اساس آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی انجام و نتایج ارزشمندی به‌دست آمده است.

Yaniktepe و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از داده سرعت باد پارامترهای توزیع سرعت باد، توزیع ماهانه و نیز پتانسیل باد را در عثمانیه ترکیه مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که منطقه مذکور برای سرمایه‌گذاری انرژی باد مناسب است. Carrillo و همکاران (۲۰۱۴) در تحقیقی پارامترهای توزیع باد و پتانسیل انرژی باد را برای منطقه گالیسیا اسپانیا به‌دست آوردند. Jalalvand و همکاران (۲۰۱۴) امکان استفاده از انرژی باد برای پمپ‌های کشاورزی برقی در منطقه‌ی بروجرد را مورد بررسی قرار دادند و بیان داشتند که با استفاده از حداقل ۳۹ توربین ۲۳۰۰ کیلوواتی در ارتفاع ۹۹ متری برق پمپ‌های کشاورزی تأمین شده و در طول سال نیز انرژی مازاد وجود داشته و قابل تزریق به شبکه‌ی سراسری برق خواهد بود. Sefeedpari و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل انرژی باد در شهرستان اقلید فارس را مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها بیان داشتند که منطقه مورد مطالعه از منظر تولید انرژی الکتریسیته در ابعاد وسیع توجیه‌پذیر نیست. Dabbaghiyan و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل انرژی باد در استان بوشهر را مورد بررسی قرار دادند. داده‌های سرعت باد با استفاده از تابع توزیع ویبول مورد تحلیل قرار گرفت. در این تحقیق بهترین نقطه استان از نظر پتانسیل انرژی باد مشخص گردید. Mostafaeipour و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی پتانسیل انرژی باد در منطقه بینالود جهت تولید برق پرداختند و بیان داشتند که پتانسیل انرژی منطقه بسیار مناسب است. Pishgar و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل انرژی باد در شهرستان فیروزکوه را با استفاده از توابع توزیع ویبول و رایلی مورد بررسی قرار دادند و جهت بهره‌برداری از انرژی باد توصیه نمودند. Mohammadi و همکاران (۲۰۱۶) چگالی توان باد را با استفاده از چندین روش تخمین پارامترهای توزیع ویبول مورد محاسبه قرار دادند. Watts و همکاران (۲۰۱۶) پتانسیل انرژی باد در شیلی را مورد بررسی قرار دادند.

تولید و مصرف برق در ایران

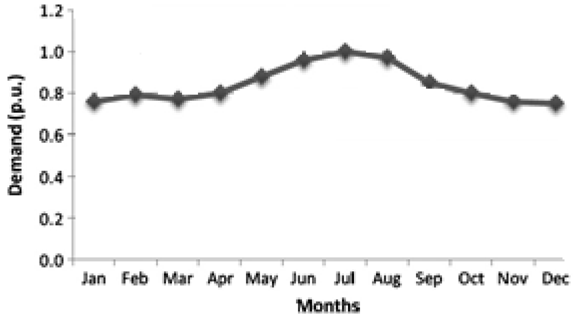
در سال ۱۳۹۵ مصرف برق ایران با رشد ۳ درصدی نسبت به سال قبل آن به Twh ۲۸۳ رسید. همچنین بر مبنای آمار شرکت توانیر گروه‌بندی مصرف‌کننده‌های برق کشور به‌صورت شکل ۱ می‌باشد و بیشترین میزان مصرف مربوط به بخش خانگی و صنعت بوده است. الگوی اوج مصرف برق کشور به‌صورتی است که در ماه‌های گرم سال مصرف برق به‌شدت افزایش می‌یابد و در برخی نقاط پایداری شبکه را کاهش می‌دهد. الگوی اوج مصرف برق کشور در شکل ۲ نشان داده شده است که در آن بیشترین مصرف برق و ناپایداری شبکه در ماه جولای رخ داده است. همچنین در طول روزهای گرم سال الگوی اوج مصرف به نحوی است که بیشترین مصرف برق و ناپایداری شبکه در میانه روز و اوایل شب به وقوع پیوسته است (شکل ۳). در واقع کمبود منابع آب در سدهای برق‌آبی و خاموشی‌های ناخواسته ناشی از افت تولید، پایداری شبکه را تحت تأثیر قرار می‌دهد (سالنامه آماری شرکت توانیر، ۱۳۹۵).



شکل ۱- گروه‌های مصرف‌کننده برق در ایران

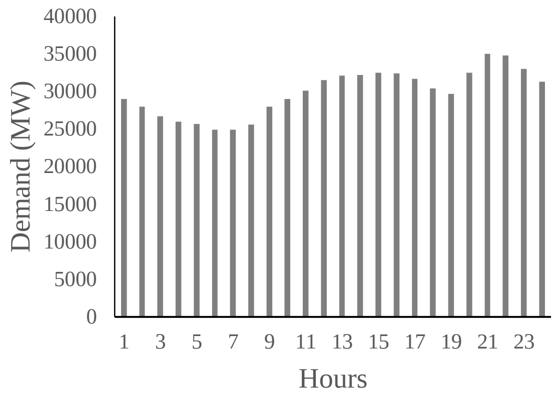
Fig. 1. Categories of electricity consumption in Iran

برای تأمین انرژی الکتریکی و تعادل در تولید و مصرف کشور نیاز به تأمین انرژی از منابع مختلف وجود دارد. بدین منظور دولت از احداث نیروگاه‌های جدید از منابع مختلف فسیلی و تجدیدپذیر به‌ویژه انرژی باد حمایت می‌کند. لازم به ذکر است که ظرفیت ذخیره عملیاتی انرژی کشور ناچیز و در حدود ۷ درصد بوده است. دلیل اصلی کم بودن ذخیره عملیاتی، افزایش مصرف برق در فصل تابستان، کمبود منابع آب و محدود بودن سهم انرژی برقابی و نیز میزان بالای خاموشی ناخواسته نیروگاه‌های حرارتی ناشی از تطبیق با افزایش مصرف است (Khosroshahi *et al.*, 2009). لذا باید تمام تلاش‌ها برای افزایش سرمایه‌گذاری در زمینه احداث نیروگاه‌های جدید به‌خصوص از منابع تجدیدپذیر صورت گیرد.



شکل ۲– الگوی اوج مصرف ماهانه برق ایران

Fig. 2. Monthly peak load pattern in Iran (Khosroshahi *et al.*, 2009)



شکل ۳– نمودار بار روزانه در یک روز اوج بار تابستانی

Fig. 3. Daily load curve during a peak summer day (Khosroshahi *et al.*, 2009)

موقعیت جغرافیایی و شرایط آب و هوایی از عوامل مهم و مؤثر بر پتانسیل انرژی باد هر منطقه محسوب می‌شود. ایران به‌عنوان کشوری پهناور دارای اقلیم‌های مختلف آب و هوایی است و برای بهره‌برداری از انرژی باد مناطق مختلف آن نیاز به مطالعه و تحقیق بر روی‌داده‌های هواشناسی وجود دارد. در این راستا تحقیقات زیادی در مناطق مختلف کشور انجام گرفته است. متأسفانه در این زمینه در مناطق غربی کشور و خصوصاً استان ایلام تحقیقاتی صورت نگرفته است. نوار مرزی استان دارای آب و هوایی گرم و خشک است، در این منطقه در ایام گرم سال دمای هوا از ۵۰ درجه سلسیوس نیز فراتر می‌رود که به‌تبع آن مصرف برق به‌شدت بالا است. در منطقه مورد مطالعه در فصل گرم سال و نیز ساعات گرم روز و هم‌زمان با اوج مصرف برق منطقه و کشور، وزش باد به‌صورت پیوسته صورت می‌گیرد. از طرفی پیشی گرفتن مصرف از تولید برق در تابستان و عکس آن در زمستان یکی از مشکلات کشور محسوب می‌گردد. با توجه به موارد فوق هدف از این تحقیق بررسی پارامترهای انرژی باد و نیز امکان‌سنجی استفاده از پتانسیل باد منطقه مورد مطالعه در فصل گرم به‌طور خاص و سایر فصول به‌صورت عام جهت کمک به تأمین انرژی برق منطقه، جلوگیری از خاموشی‌های ناخواسته، توسعه استفاده از انرژی باد به‌عنوان یکی از منابع مهم تجدیدپذیر و نیز جلب‌توجه سرمایه‌گذاران و سیاست‌گذاران انرژی جهت احداث مزارع بادی در منطقه مورد مطالعه است. لازم به ذکر است که پارامترهای مد نظر برای بررسی در این مطالعه عبارتند از میانگین سالانه، فصلی، ماهانه و ساعتی سرعت باد و چگالی انرژی باد در ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر و پارامترهای توابع توزیع ویبول و رایلی. علاوه بر موارد ذکر شده مقادیر سرعت باد با بیشترین احتمال، سرعت باد با بیشترین انرژی، فاکتور الگوی انرژی و گلباد نیز مد نظر قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های منطقه مورد مطالعه و روش جمع‌آوری اطلاعات

دهلران، یکی از شهرهای استان ایلام است که در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۰ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۴۱ دقیقه و در بلندی ۲۱۳ متری از سطح دریا قرار دارد. فاصله آن از ایلام و اندیمشک به‌ترتیب ۲۳۰ و ۱۲۰ کیلومتر است. از شمال به شهرستان آبدانان و ملکشاهی، از جنوب به کشور عراق، از شرق به استان خوزستان و از غرب به شهرستان مهران محدود می‌شود (شکل ۴). شهرستان دهلران جزء مناطق جلگه‌ای و کم ارتفاع ایران به‌شمار می‌رود. این منطقه دارای زمستان‌های معتدل و تابستان‌های بسیار گرم و خشک است. متوسط بارندگی سالیانه در این شهر ۲۷۰ میلی‌متر است. لازم به ذکر است این شهر یکی از نواحی بادخیز استان بوده و در اکثر مواقع سال، سرعت باد آن قابل ملاحظه است.



شکل ٤ – موقعیت جغرافیایی شهرستان دهلران

Fig. 4. Geographical location of Dehloran County

یکی از معیارهای مهم در احداث مکان‌هایی جهت استحصال انرژی باد همچون نیروگاه‌های بادی، اندازه‌گیری سرعت میانگین سالانه و نیز چگالی توان باد است. برای این منظور و انجام تجزیه و تحلیل‌های آماری، داده‌های سه ساعته شامل جهت و سرعت باد از سازمان هواشناسی اخذ گردید. دوره بررسی تغییرات باد وزیده شده در منطقه در طول سال‌های ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۳ بود. به‌منظور ترسیم گراف‌ها

و محاسبات آماری و ریاضی، از نرم‌افزار Excel استفاده شد. ایستگاه سینوپتیک دهلران در طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۱۶ دقیقه، عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۶۱ دقیقه و در ارتفاع ۲۳۲ متری از سطح دریا قرار دارد.

سرعت باد میانگین

میانگین سرعت سالانه، ماهانه، روزانه و نیز انحراف استاندارد سرعت باد با استفاده از روابط زیر محاسبه گردید:

$$v_m = \frac{1}{N}\left[\sum_{i=1}^{N} v_i\right] \quad (۱)$$

$$\sigma_v = \left[\frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}(v_i - v_m)^2\right]^{0.5} \quad (۲)$$

که در آن N تعداد سرعت‌های باد، σ_v انحراف استاندارد، v_i سرعت باد و v_m سرعت میانگین است.

تحقیقات مختلف نشان داده‌اند که سرعت باد در ارتفاعات بالاتر، از رابطه (۳) که رابطه تجربی است به‌دست می‌آید (Mostafaeipour *et al*, 2013).

$$v = v_{mes}\left(\frac{H}{H_{mes}}\right)^{\alpha} \quad (۳)$$

که در آن V سرعت باد در ارتفاع H (ارتفاع موردنظر)، V_{mes} سرعت باد در ارتفاع H_{mes} (ارتفاع مبنا برابر ۱۰ متر) و α ضریب زبری سطح است. ضریب زبری سطح به شرایط عوارض سطحی، زمان روز و فصل، سرعت باد و دما بستگی دارد (Al-Mohamad and Karmeh, 2003). در این تحقیق ضریب زبری سطح ۰/۱۴۳ در نظر گرفته شد.

تابع توزیع ویبول

پتانسیل انرژی باد یک منطقه و ویژگی‌های آن را می‌توان با استفاده از تحلیل آماری داده‌های هواشناسی بلندمدت مورد ارزیابی قرار داد. برآورد تابع توزیع احتمال گامی مهم و اساسی در تعیین پتانسیل توان باد و امکان‌سنجی اقتصادی آن محسوب می‌گردد. توابع توزیع مختلفی از جمله ویبول، رایلی، لگاریتمی و گاما را می‌توان برای توصیف توزیع فراوانی سرعت باد مورد استفاده قرار داد. ولی توابع توزیع ویبول و رایلی ساده بوده و دقت مناسبی دارند (Diaf and Notton, 2013). در مطالعات پیشین نیز، اغلب از تابع توزیع احتمال ویبول و رایلی استفاده شده است (Salahi, 2004). تابع توزیع ویبول مطابق رابطه (۴)، با دو پارامتر k (ضریب شکل) و c (ضریب مقیاس) مشخص شده است.

$$f(v) = \frac{k}{c}\left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} exp\left[-\left(\frac{v}{c}\right)^{k}\right], 0 \le V \le \infty \quad (۴)$$

برای تعیین k و c از روابط زیر استفاده شد (Manwell, 2002).

$$k = \frac{\sigma_V}{v_m}^{-1.086}, \quad (۵)$$

$$\frac{c}{v_m} = \frac{k^{2.6674}}{0.184 + 0.816k^{2.73855}}$$

که در آن σ_v و v_m به‌ترتیب انحراف استاندارد و میانگین سرعت باد بوده و N تعداد داده‌های سرعت است. سرعت باد با بیشترین احتمال، از رابطه (۶) به‌دست می‌آید:

$$V_{mp} = c\left(1 - \frac{1}{k}\right)^{1/k} \quad (۶)$$

سرعت بادی که در یک دوره زمانی بیشترین انرژی را تولید می‌کند نیز عاملی مهم در احداث مزرعه بادی محسوب می‌شود. این پارامتر بیشترین انرژی باد در یک‌زمان مشخص را نشان داده و از رابطه (۷) به‌دست می‌آید (Gabbasa, 2013; Cook, 2001):

$$V_{me} = c\left(1 + \frac{2}{k}\right)^{1/k} \quad (۷)$$

تابع توزیع رایلی

تابع توزیع دیگری که برای بررسی پتانسیل سرعت باد به‌کار می‌رود، تابع توزیع رایلی است. تابع توزیع رایلی حالتی خاص از تابع ویبول است که توزیع فرکانس سرعت باد را نشان می‌دهد. در توزیع رایلی، مقدار k برابر ۲ در نظر گرفته شد.

$$f(V) = \frac{2V}{c^2}\ e^{-(V/c)^2} \qquad 0 \le V \le \infty \quad (۸)$$

در رابطه (۸)، $f(V)$ احتمال وقوع مقادیر مختلف سرعت باد، c (c >۱) پارامتر مقیاس توزیع برحسب متر بر ثانیه و V سرعت باد (برای V<0 مقدار ۰ =$f(V)$ است) برحسب متر بر ثانیه است. چگالی احتمال و تابع توزیع تجمعی رایلی به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$F_R(v) = 1 - exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{v}{v_m}\right)^2\right] \quad (۹)$$

$$f_R(v) = \frac{\pi}{2}\frac{v}{v_m^2} exp\left[-\left(\frac{\pi}{4}\right)\left(\frac{v}{v_m^2}\right)^k\right] \quad (۱۰)$$

که در آن $f_R(v)$ تابع چگالی احتمال و $F_R(v)$ تابع توزیع تجمعی رایلی است (Celik, 2004).

توان باد

توان باد، حاصل انرژی جنبشی به ازای واحد جرم باد و دبی جرمی جریان باد در بین تیغه‌های توربین است. لذا هرچه سرعت وزش باد در منطقه بیشتر باشد، پتانسیل انرژی باد برای تولید انرژی الکتریسیته بالاتر خواهد بود. عوامل دیگری نظیر اندازه توربین نیز بر توان خروجی توربین مؤثر است. افزایش اندازه توربین به همراه افزایش اندازه طول پره‌ها موجب افزایش سطح تماس باد با توربین شده و درنتیجه سرعت چرخش پره‌های توربین نیز افزایش می‌یابد؛

بنابراین، توان توربین با در نظر گرفتن دو پارامتر سرعت باد و سطح تماس آن با پره از رابطه (۱۱) قابل محاسبه خواهد بود (Hennessey, 1977):

$$P_v = \frac{1}{2} A \rho V^3 \quad (۱۱)$$

که در آن A سطح جاروب شده (مترمربع)، ρ چگالی هوا (۱/۲۲۵ کیلوگرم بر مترمکعب در فشار ۱ اتمسفر و دمای ۱۵ درجه سلسیوس)، P_v متوسط ظرفیت توان باد (وات) و V سرعت باد (متر بر ثانیه) است (Celik, 2004).

چگالی توان باد یکی از مفیدترین ابزارهای تخمین پتانسیل باد محسوب می‌شود که بیانگر میزان توان باد در دسترس در یک منطقه است که توسط توربین بادی قابلیت تبدیل به برق را دارد. توان باد بر واحد سطح و یا چگالی توان به‌صورت زیر بیان می‌گردد (Akpinar and Kavak, 2006):

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (۱۲)$$

براساس داده‌های هواشناسی، چگالی توان باد میانگین را می‌توان به‌صورت زیر محاسبه کرد (Manwell, 2002):

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^{N} \frac{V_i^3}{N} \quad (۱۳)$$

بر اساس تابع توزیع رایلی، چگالی توان باد از رابطه (۱۴) به‌دست می‌آید (Manwell JF, 2002):

$$P_R = \frac{3}{\pi} \rho A v_m^3 \quad (۱۴)$$

بر اساس تابع توزیع ویبول، چگالی توان باد از رابطه (۱۵) به‌دست می‌آید (Manwell, 2002).

$$P_W = \frac{1}{2} \rho c^3 \left(\frac{k+3}{k}\right) \quad (۱۵)$$

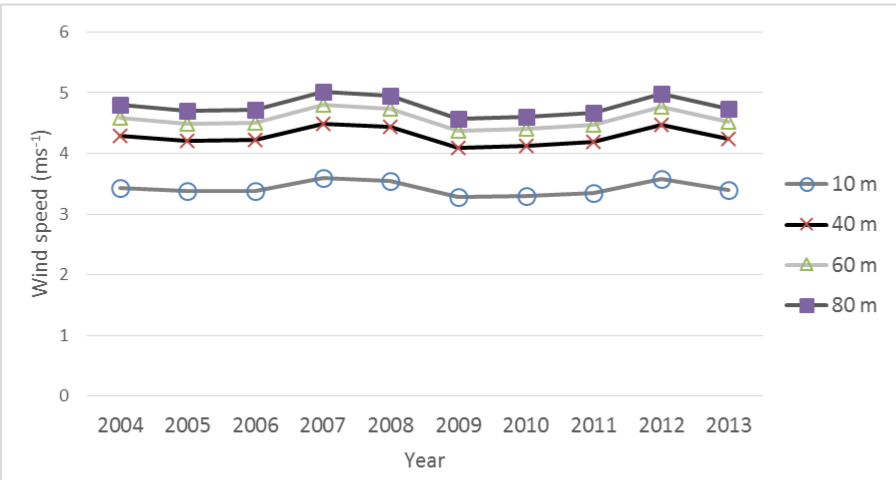
فاکتور مهم دیگر در تحلیل پتانسیل انرژی باد، فاکتور الگوی انرژی است که می‌توان از آن برای کمک به طرحی آئرودینامیکی توربین استفاده کرد. فاکتور الگوی انرژی عبارت است از مجموع توان در دسترس باد تقسیم بر توان محاسبه شده از مکعب سرعت میانگین. (Alamdari *et al.*, 2012; Fazelpour *et al.*, 2015)

$$k_e = \frac{1}{N V_m^3} \sum_{i=1}^{N} V_i^3 = \frac{\overline{V^3}}{V_m^3} \quad (۱۶)$$

نتایج و بحث

میانگین سالانه سرعت باد

معمولاً داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی کشور در ارتفاع ۱۰ متر اندازه‌گیری می‌شوند. از طرفی با توجه به اینکه بنا به ظرفیت توربین‌های تجاری موجود در کشور، روتور و پره‌ها می‌توانند در ارتفاعی تا حدود ۸۰ متر قرار گیرند، با استفاده از رابطه (۳) سرعت در ارتفاع ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر نیز محاسبه گردید. میانگین سرعت سالانه در چهار ارتفاع مذکور طی دوره ۲۰۰۴-۲۰۱۳ در شکل ۵ نشان داده شده است که بیانگر میانگین سرعت مناسب در ارتفاع‌های مذکور است. با توجه به شکل ۵ تغییرات میانگین ده ساله دارای نوسان نسبتاً کمی بود، که خود می‌تواند بیانگر ثبات انرژی باد از ایستگاه مورد مطالعه باشد، لازم به‌ذکر است که بیشترین و کمترین سرعت، ۳/۶ و $3/25 \ ms^{-1}$ و به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰ به وقوع پیوسته است. در ارتفاع ۸۰ متری میانگین سرعت سالانه حدود $5 \ ms^{-1}$ بود که مناسب به‌نظر می‌رسد.



شکل ۵ – میانگین سرعت سالیانه در ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر

Fig. 5. The annual average of wind speed rate at 10, 40, 60 and 80 m

تغییرات ماهانه و فصلی سرعت باد

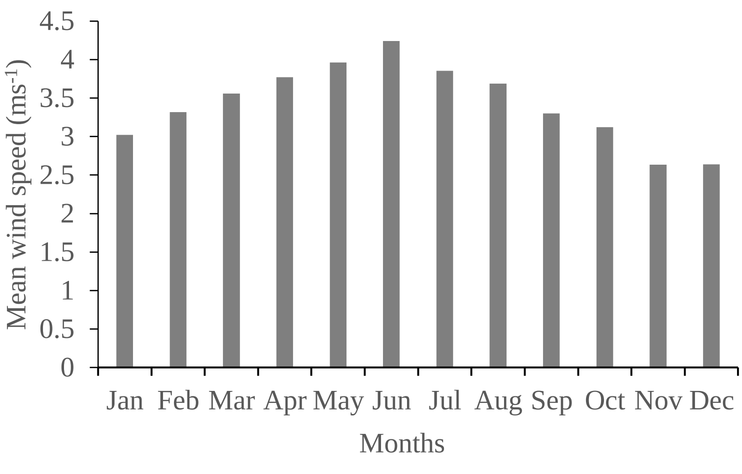
برای تعیین پتانسیل باد ایستگاه مذکور، داده‌ها جمع‌آوری و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. به دلیل تغییر شرایط آب و هوایی در طول ماه‌های سال، تغییرات زیاد انرژی مصرفی بخش‌های مختلف به‌ویژه خانگی و کشاورزی و به تبع آن اهمیت بررسی روند سرعت ماهانه و فصلی و مشخص نمودن روند تغییرات مذکور در طول سال، میانگین ماهانه و فصلی سرعت باد محاسبه گردید. تغییرات سرعت باد در ارتفاع ۱۰ متری طی ماه‌های مختلف سال و میانگین سرعت و انحراف معیار سرعت باد به‌ترتیب در شکل ۶ و جدول ۱ نشان داده شده است. با توجه به جدول ۱، بیشترین میانگین سرعت ماهانه ۴/۶۲ و کمترین مقدار آن ms^{-1} ۲/۲۴۱ به‌ترتیب در ماه ژوئن ۲۰۰۵ و نوامبر ۲۰۰۶ بود. به‌طور کلی، ماه‌های گرم سال به‌صورت معنی‌داری میانگین سرعت بیشتر و انحراف استاندارد کمتری نسبت به ماه‌های سرد سال داشتند که می‌تواند بیانگر پتانسیل، ثبات و پایداری بالاتر انرژی در ایام گرم سال باشد. از طرفی با توجه به تحقیقات پیشین (Khosroshahi *et al.*, 2009) و بررسی الگوی اوج مصرف ماهیانه کشور در شکل‌های ۳ و ۶، می‌توان چنین استنباط کرد که میانگین سرعت ماهیانه باد منطقه مورد مطالعه دارای الگوی مناسبی برای بهبود پایداری شبکه برق از طریق احداث مزارع بادی، واحدهای پراکنده تولید انرژی جهت تأمین برق واحدهای کشاورزی، صنعتی و یا خانگی در طول سال و به‌ویژه در فصول گرم می‌باشد.

تغییرات ساعتی سرعت باد

مناطق گرم و بیابانی دارای نوسانات دمایی زیادی در طول شبانه‌روز هستند که می‌تواند بر روند و الگوی وزش باد تأثیرگذار باشد. بررسی میانگین سرعت باد در طول شبانه‌روز به‌صورت سالیانه و فصلی، بیانگر تغییر معنی‌دار سرعت در طی شبانه‌روز در کل فصول سال بود. روند این تغییرات در شکل ۷ نشان داده شد. با توجه به شکل مذکور، کمترین سرعت در ساعت ۳ بامداد بوده است. از ساعت ۳، سرعت باد افزایش یافته و در ساعت ۱۵ به بیشینه مقدار خود رسید و پس از آن تا ۳ بامداد دارای روند نزولی گردید. این روند در میانگین فصلی و ماهانه نیز صادق بود. از مقایسه نمودار بار روزانه اوج بار تابستانی کشور در شکل ۳ با شکل ۷ چنین استنباط می‌شود که توزیع روزانه سرعت باد ایستگاه مورد مطالعه مناسب بوده و سرعت بیشتر که منجر به توان بادی بیشتری می‌شود با اوج مصرف تقارن زمانی دارد. لذا با توجه به مصرف بسیار زیاد برق کشور و خصوصاً مناطق گرمسیری در فصل تابستان و خاموشی‌های ناخواسته ناشی از آن، بالا بودن سرعت باد و درنتیجه پتانسیل تولید انرژی باد می‌تواند احداث نیروگاه‌های بادی را در این مناطق توجیه‌پذیر نماید.

پارامترهای تابع توزیع ویبول

تغییرات تابع توزیع ویبول شامل پارامتر k و c طی مدت ۱۰ سال و در ارتفاع ۱۰ متر در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. پارامتر k بدون بعد و c بر حسب $m\ s^{-1}$ است. کمترین و بیشترین مقدار k، ۱ و ۱/۸۲۸، به‌ترتیب در دسامبر ۲۰۰۶ و می ۲۰۱۱ بود. همچنین کمترین و بیشترین مقدار c برابر با ۲/۳۷ و ۵/۲۶۹، به‌ترتیب در نوامبر ۲۰۰۴ و ژوئن ۲۰۱۳ مشاهده گردید.

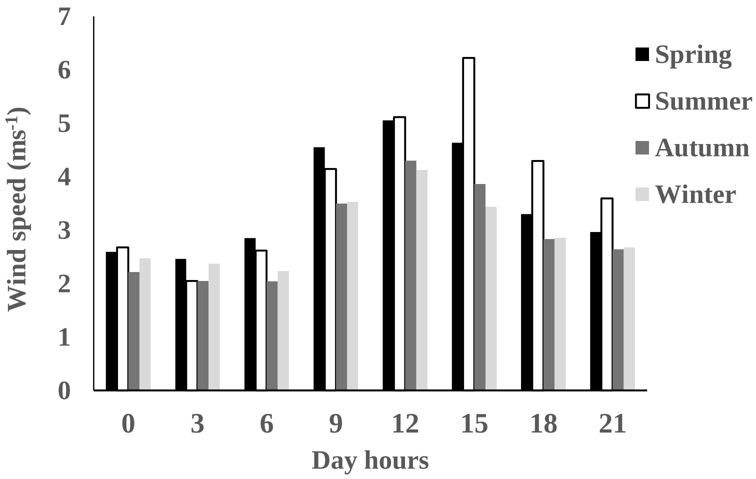


شکل ٦- میانگین سرعت ماهانه باد در ارتفاع ۱۰ متری
Fig. 6. Monthly average of wind speed at 10 m height

جدول ۱– انحراف استاندارد و میانگین سرعت باد طی دوره ده ساله در ارتفاع ۱۰ متری

Table 1- Standard deviation and wind speed average over ten years period at 10 m height

ماه Month	پارامتر Parameter	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ژانویه	$\bar{v}$	3.289	3.027	3.374	2.894	2.874	2.62	3.475	2.817	3.16	2.668
Jan	σ	2.96	2.966	3.601	2.847	2.288	1.924	2.412	2.399	2.368	2.546
فوریه	$\bar{v}$	3.354	2.268	3.14	3.166	4.315	3.479	3.122	3.073	3.759	2.979
Feb	σ	3.039	2.460	2.788	2.540	3.386	2.382	2.159	2.146	2.416	2.661
مارس	$\bar{v}$	3.188	2.279	3.636	3.358	4.640	3.091	3.366	3.737	4.027	3.373
Mar	σ	2.501	2.439	3.099	3.835	2.999	2.343	2.200	2.531	2.895	2.649
آوریل	$\bar{v}$	4.187	3.799	3.575	4.245	3.950	3.325	3.570	3.887	3.741	3.454
Apr	σ	3.213	3.959	2.848	2.986	2.811	1.942	2.182	2.638	2.422	2.607
می	$\bar{v}$	3.890	4.091	3.353	3.700	4.414	3.329	3.801	4.254	4.341	4.257
May	σ	2.695	2.723	2.502	2.282	2.718	2.008	2.320	2.441	2.607	2.959
ژوئن	$\bar{v}$	4.554	4.620	3.591	4.450	3.983	3.925	4.237	3.966	4.354	4.720
Jun	σ	3.023	3.347	2.506	2.672	2.654	2.271	2.465	2.421	2.847	3.050
جولای	$\bar{v}$	3.470	4.212	4.132	4.402	3.458	4.003	3.595	3.438	4.011	3.821
July	σ	2.705	2.707	2.535	3.039	2.356	2.383	2.326	2.332	2.522	2.653
آگوست	$\bar{v}$	4.055	3.587	3.458	4.362	3.422	3.934	3.164	3.583	3.797	3.527
Aug	σ	3.154	2.810	2.274	2.561	2.087	2.457	1.887	2.358	2.400	2.408
سپتامبر	$\bar{v}$	3.254	3.287	3.158	3.504	3.600	3.320	2.795	3.233	2.795	3.345
Sep	σ	2.696	2.643	2.400	2.398	2.275	2.089	1.919	2.104	1.919	2.501
اکتبر	$\bar{v}$	2.591	3.216	4.176	2.737	2.769	3.071	3.067	3.664	3.196	2.708
Oct	σ	2.333	2.271	2.934	1.954	1.837	2.227	2.005	2.292	1.973	2.206
نوامبر	$\bar{v}$	3.116	2.291	2.241	3.066	2.495	2.491	2.408	2.666	2.795	2.791
Nov	σ	2.471	1.961	1.873	2.322	2.097	1.871	1.612	2.318	2.599	2.700
دسامبر	$\bar{v}$	2.741	2.487	2.531	3.313	2.813	2.527	2.491	2.325	2.507	2.660
Dec	σ	2.727	2.615	2.838	2.823	2.111	2.186	2.041	2.784	2.207	2.867



شکل ۷– تغییرات ساعتی سرعت باد در فصول مختلف سال در ارتفاع ۱۰ متر

Fig. 7. Daily variation in wind speed of different seasons of the year at 10 m height

چگالی توان باد

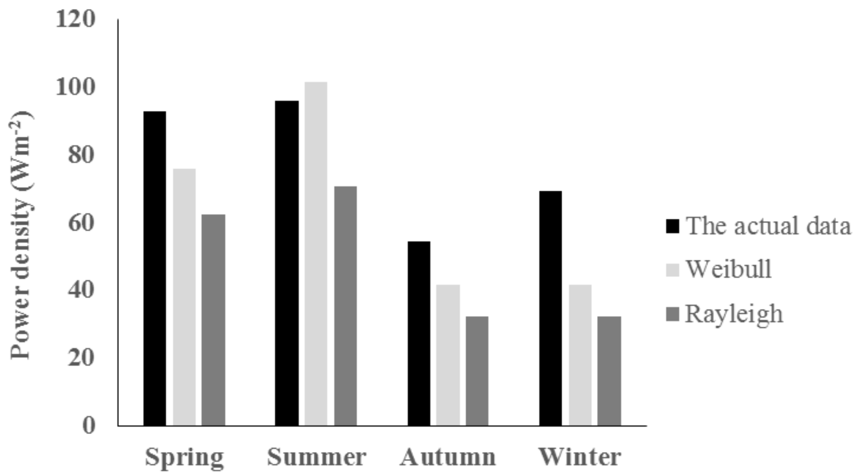
تعیین توان باد در واحد سطح معیاری مهم در بررسی پتانسیل انرژی باد و قابلیت یک منطقه برای احداث مزرعه بادی محسوب می‌گردد. در شکل ۸ چگالی توان باد در ارتفاع ۱۰ متری و نیز پیش‌بینی توان باد با استفاده از توابع ویبول و رایلی نشان داده شده‌اند. با توجه به شکل تابع ویبول نسبت به تابع رایلی برآورد بهتری از توان باد داشته است و هر دو تابع بهترین پیش‌بینی توان را در فصل تابستان و بدترین آن را در فصل زمستان داشته‌اند. شکل ۹ چگالی

توان باد ماهیانه را در ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متری نشان مـی‌دهـد. بیشترین چگالی انرژی ماهیانه مربوط به ماه‌های گرم سال بـوده و از ۲۳۰ تا ۳۱۲ Wm^{-2} متغیر بود. کمترین و بیشترین مقدار چگالی تـوان به‌ترتیب مربوط به ماه‌های نوامبر و ژوئن مشاهده گردید. لذا می‌تـوان گفت که پتانسیل بالای انرژی باد منطقه با اوج مصرف برق کشور که در ماه‌های گـرم سـال رخ مـی‌دهـد تقـارن زمـانی دارد و از بررسـی شکل‌های ۳ و ۹ می‌توان به‌خوبی به این نتیجه دست یافت.

جدول ۲ – پارامترهای تابع توزیع ویبول

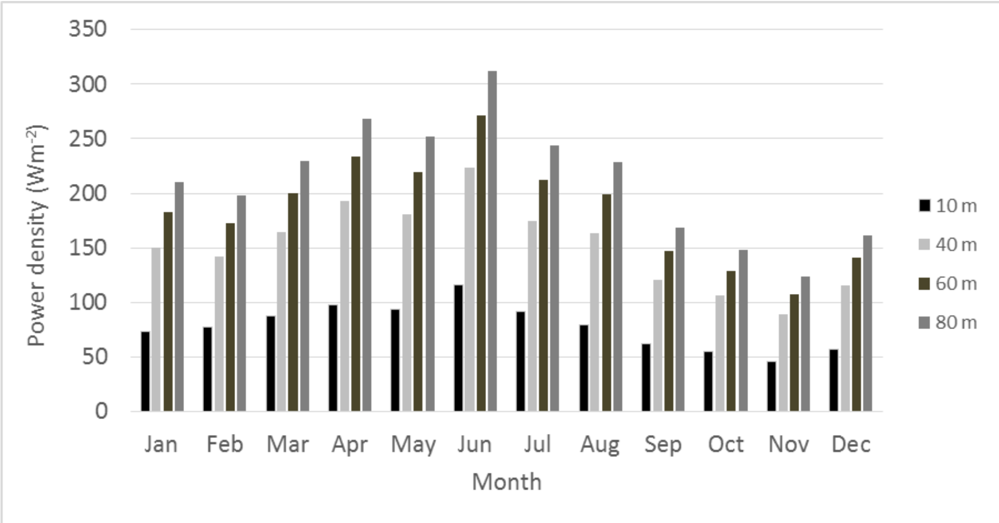
Table 2- Parameters of Weibull distribution function

ماه Month	پارامتر Parameter	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
ژانویه	k	1.121	1.022	1.012	1.017	1.280	1.397	1.468	1.190	1.367	1.052
Jan	c	3.432	3.055	3.262	2.915	3.115	3.876	2.847	3.992	3.457	2.724
فوریه	k	1.113	1.136	1.137	1.270	1.301	1.508	1.492	1.476	1.615	1.130
Feb	c	3.492	2.900	3.291	3.415	4.677	3.859	3.458	3.399	4.198	3.117
مارس	k	1.301	1.160	1.189	1.201	1.606	1.351	1.586	1.526	1.431	1.452
Mar	c	3.456	2.949	3.860	3.574	5.179	3.375	3.752	3.150	4.436	3.125
آوریل	k	1.333	1.304	1.279	1.456	1.446	1.792	1.706	1.523	1.603	1.356
Apr	c	4.560	4.098	3.861	4.692	4.357	3.738	4.003	4.316	4.175	3.773
می	k	1.489	1.556	1.455	1.690	1.692	1.731	1.709	1.828	1.739	1.484
May	c	4.307	4.553	3.903	4.146	4.947	3.736	4.263	4.787	4.874	4.712
ژوئن	k	1.560	1.419	1.477	1.739	1.554	1.811	1.800	1.708	1.585	1.436
Jun	c	5.069	5.084	3.973	4.995	4.432	4.415	4.765	4.448	4.854	5.269
جولای	k	1.310	1.553	1.699	1.495	1.516	1.775	1.604	1.524	1.654	1.486
July	c	3.767	4.687	4.632	4.877	3.838	4.496	4.013	3.818	4.487	4.231
آگوست	k	1.313	1.303	1.576	1.782	1.710	1.667	1.652	1.575	1.645	1.513
Aug	c	4.404	3.890	3.853	4.903	3.838	4.404	3.555	3.992	4.247	3.913
سپتامبر	k	1.226	1.267	1.346	1.509	1.645	1.653	1.504	1.593	1.504	1.371
Sep	c	3.481	3.543	3.445	3.886	4.026	3.715	3.099	3.606	3.099	3.661
اکتبر	k	1.120	1.459	1.467	1.441	1.561	1.417	1.586	1.664	1.688	1.249
Oct	c	2.704	3.553	4.616	3.018	3.082	3.379	3.420	4.101	3.581	2.910
نوامبر	k	1.286	1.184	1.215	1.352	1.208	1.364	1.546	1.164	1.082	1.036
Nov	c	3.370	2.429	2.392	3,347	2.660	2.724	2.678	2.814	2.883	2.833
دسامبر	k	1.005	1.001	1.000	1.190	1.366	1.170	1.241	1.332	1.148	1.009
Dec	c	2.747	2.424	2.376	3.518	3.077	2.671	2.672	2.532	2.635	2.558



شکل ۸– چگالی توان باد در ارتفاع ۱۰ متری و پیش‌بینی توان باد با استفاده از توابع ویبول و رایلی

Fig. 8. Wind power density at 10 m height and wind power prediction using the Rayleigh and Weibull functions



شکل ۹- چگالی توان باد ماهانه ایستگاه دهلران در ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر

Fig. 9. Monthly wind power density of Dehloran station at 10, 40, 60 and 80 m heights

همچنین در جدول ۳ فاکتور الگوی انـرژی K_e، سـرعت بـاد بـا بیشترین انرژی V_{me} و سرعت باد با بیشترین احتمال آمـده اسـت. بـا توجه به رابطه (۱۶)، بالا بودن فاکتور الگوی انـرژی در فصـول سـرد سال که میانگین سرعت کمتری دارند، می‌تواند مؤید این امر باشد که در این فصول، طی زمان‌هایی که وزش باد صورت گرفته است، سـهم سرعت‌هایی با مقدار عددی بیش از میانگین ماهانه بیشـتر از فصـول گرم سال بود. البته ایـن امـر در جـدول ۱ نیـز قابـل اسـتنباط اسـت، بدین‌صورت که مقدار عددی انحراف استاندارد در ماه‌های سرد تقریبـاً برابر و نزدیک به میانگین مشاهده گردید و این رویه بـرای مـاه‌هـای گرم صدق نمی‌کنـد. بیشـترین و کمتـرین مقـدار V_{me}، بـه‌ترتیـب در ماه‌های ژوئن و نوامبر مشـاهده شـد. همچنـین بیشـترین و کمتـرین مقدار V_{mp}، به‌ترتیب در ماه‌های ژوئن و ژانویه بوده است.

جدول ۳- مقادیر سرعت باد با بیشترین احتمال (V_{mp})، سرعت باد با بیشترین انرژی (V_{me}) و فاکتور الگوی انرژی (K_e) در ماه‌های مختلف سال

Table 3- Maximum probability wind speed (V_{mp}), maximum energy wind speed (V_{me}) and energy pattern factor (K_e) values in different months

دسامبر Dec	نوامبر Nov	اکتبر Oct	سپتامبر Sep	آگوست Aug	جولای Jul	ژوئن Jun	می May	آوریل Apr	مارس Mar	فوریه Feb	ژانویه Jan	پارامتر Parameter
3.61	3.63	3.13	3.17	3.52	3.76	4.11	4.06	3.78	3.54	3.25	3	V_{mp}
3.45	3.39	3.98	4.48	5.05	5.14	5.7	4.88	4.84	4.61	4.41	3.91	V_{me}
5.18	3.92	2.99	2.75	2.59	2.58	2.4	0.6	1.04	3.18	3.14	4.5	K_e

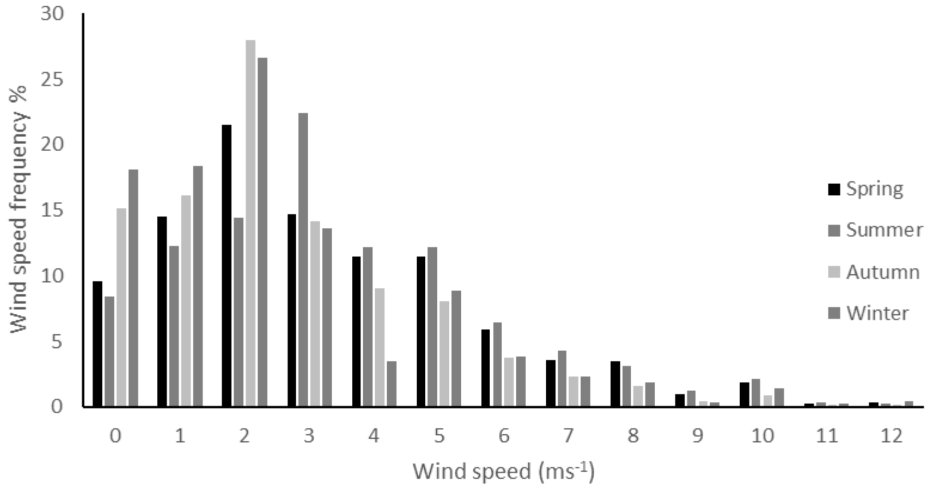
توزیع فراوانی سرعت باد

فراوانی سرعت باد طی فصول مختلف سـال در شـکل ۱۰ نشـان داده شده است. با توجه به شکل فراوانی سرعت‌های $4ms^{-1}$ و بیشتر، در فصول گرم سال به‌صورت معنی‌داری بـیش از سـایر فصـول بـوده است. همچنین در جدول ۴ فراوانی فصلی سرعت باد در چهـار گـروه باد آرام (کمتر از $2ms^{-1}$)، ملایم، مطلوب و طوفـانی نشـان داده شـده است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، در فصل تابستان ۶۴/۹۲ درصـد از طول شبانه‌روز، وزش باد با سرعت مطلوب (سرعت باد در محـدوده کارکرد توربین بادی) صورت گرفته است. این عدد بـرای فصـل بهـار ۵۴/۴۶ بود. کمترین میـزان سـرعت بـاد مطلـوب مربـوط بـه فصـل زمسـتان بـا ۳۶/۹۹ درصـد مشـاهده گردیـد. میـزان بادهـای شـدید، خسارت‌زا و غیرقابل استفاده به‌جز فصل زمسـتان (۰/۰۱۴ درصـد) در سایر فصول سال صفر بوده است. با در نظر گرفتن اینکه منطقه مـورد مطالعه دارای آب و هوای گرم بوده و دارای مصرف انرژی بـالایی در ایام گرم سال است و نیز وقوع خاموشی ناخواسته در فصول گرم سال، ساعات طولانی وزش باد در این فصل می‌تواند احداث مزرعه بادی در این مناطق را توجیه‌پذیر نماید.

گلباد انرژی باد

تعیـین جهـت بـاد بـرای پژوهشـگران مهـم بـوده و بیـانگر اثـر خصوصیات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه بر خصوصیات باد می‌باشـد. لذا در تجزیه و تحلیل داده‌های باد به‌ویژه برای مکان‌یابی توربین‌های

باد و احداث مزرعه بادی و سایر کاربردهای انرژی باد از جمله پمپاژ آب، روشنایی و غیره ضروری به‌نظر می‌رسد. به‌منظور نمایش جهت وزش باد در منطقه از نمودارهای گلباد ۱۶ جهته در ماه‌های مختلف برای ۱۰ سال رسم شد. هدف از رسم این‌گونه نمودارها، انتخاب مناسب‌ترین توربین با توجه به وضعیت بادهای منطقه است.



شکل ۱۰ – توزیع فراوانی سرعت باد در فصول مختلف سال و ارتفاع ۱۰ متر

Fig. 10. The frequency distribution of wind speed at different seasons of the year in 10 m height

جدول ٤ – مقایسه فراوانی سرعت‌های باد فصول مختلف سال در ارتفاع ۱۰ متر

Fig. 4. Comparison of wind speeds frequency in different seasons at 10 m height

جمع Total	فراوانی سرعت باد غیرمفید و طوفانی- بیش از $22ms^{-1}$ Frequency of Stormy wind (>$22ms^{-1}$)	فراوانی سرعت باد مطلوب ۳ تا $22ms^{-1}$ Frequency of desired wind(3<v<$22ms^{-1}$)	فراوانی سرعت باد ملایم 2تا $2.99ms^{-1}$ Frequency of gentle wind(2<v<$2.99ms^{-1}$)	فراوانی سرعت باد آرام-کمتر از $2ms^{-1}$ Frequency of calm wind(<$2ms^{-1}$)	
100	۰	54.46	21.51	24.03	بهار/Spring
100	۰	64.92	14.45	20.63	تابستان/Summer
100	۰	40.75	27.97	31.28	پاییز/Autumn
100	0.014	36.99	26.60	36.45	زمستان/Winter

به همین دلیل از داده‌های جهت باد غالب در منطقه برای ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین که از ایستگاه هواشناسی اخذ شد، استفاده گردید. نمودار گلباد سالانه درصد و جهت باد را در جهات ۱۶گانه نشان می‌دهد. بدین منظور با استفاده از داده‌های ساعتی باد ایستگاه سینوپتیک دهلران در طی دوره‌ی ده ساله، گلباد جهت این ایستگاه تهیه و ترسیم شد. با توجه شکل ۱۱، باد غالب در کلیه‌ی ماه‌های سال جنوب شرقی و جنوب غربی بود که بیش از ۳۰ درصد بادها را شامل می‌شود. بیشترین فراوانی باد جنوب شرقی و سپس غربی و کمترین فراوانی باد در طی سال از سمت شمال شرقی و در مرتبه بعد شمالی مشاهده گردید.

نتیجه‌گیری

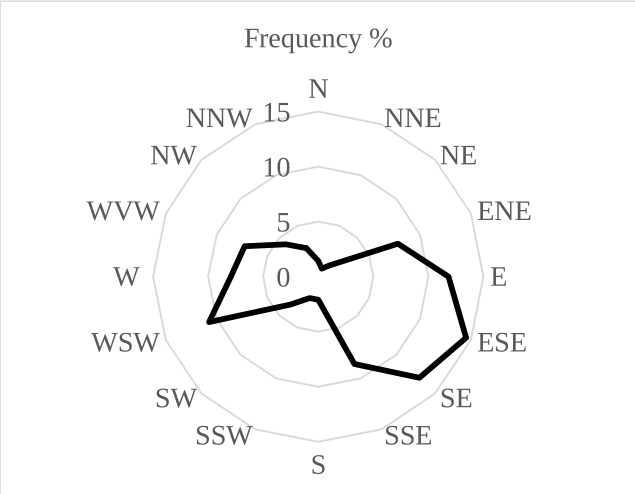
هدف کلی این تحقیق کسب اطلاعات در مورد پتانسیل انرژی باد در منطقه موردمطالعه و بهبود و ایجاد چشم‌اندازی برای استفاده از آن می‌باشد. در این تحقیق، تحلیل آماری پتانسیل انرژی باد با رسم توابع توزیع ویبول طی دوره ده ساله و در ارتفاع‌های ۱۰ الی ۸۰ متری در ایستگاه دهلران انجام شد. به‌صورت خلاصه نتایج به‌دست آمده به‌صورت زیر می‌باشد:

۱- سرعت میانگین سالانه در چهار ارتفاع ۱۰، ۴۰، ۶۰ و ۸۰ متر محاسبه گردید. با توجه به نتایج به‌دست آمده میانگین سرعت ده‌ساله دارای نوسان نسبتاً کمی بود که بیشترین و کمترین سرعت، ۳/۶ و ۳/۲۵ms^{-1} و به‌ترتیب در سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۰ بوده است. در ارتفاع ۸۰ متری میانگین سرعت سالانه حدود ۵ ms^{-1} بود که مناسب به‌نظر می‌رسد. همچنین، ماه‌های گرم سال به‌صورت

معنی‌داری میانگین سرعت بیشتری نسبت بـه مـاه‌هـای سـرد سـال داشتند.

۲- بررسی میانگین سرعت بـاد در طـول شـبانه‌روز بـه‌صـورت سالیانه و فصلی، بیانگر تغییر معنی‌دار سرعت در طی شبانه‌روز در کل فصول سال بود. کمترین سرعت در ساعت ۳ بامـداد بـوده اسـت. از ساعت ۳ سرعت باد افزایش یافته و در ساعت ۱۵ به بیشـینه مقـدار خود رسید و پس از آن تا ۳ بامـداد نزولـی گردیـد. در رونـد مـذکور تطابق مناسبی بین اوج مصـرف بـرق و سـرعت بیشـینه بـاد وجـود داشت.

۳- فاکتورهای تابع توزیع ویبول k و c محاسبه گردید که بـرای محاسبه چگالی انرژی باد ضروری هستند. کمترین و بیشترین مقـدار k، ۱ و ۱/۸۲۸، به‌ترتیب در دسامبر ۲۰۰۶ و می ۲۰۱۱ بود. همچنین کمترین و بیشترین مقـدار c برابـر بـا ۲/۳۷ و ۵/۲۶۹، بـه‌ترتیـب در نوامبر ۲۰۰۴ و ژوئن ۲۰۱۳ بوده است.



شکل ۱۱- گلباد و جهت باد در ایستگاه دهلران

Fig. 11. Wind rose and wind direction at the Dehloran station

۴- بیشترین چگالی انرژی ماهیانه مربوط به ماه‌هـای گـرم سـال بوده و از ۲۳۰ تا ۳۱۲wm^{-2} متغیر اسـت. کمتـرین و بیشـترین مقـدار چگالی توان به‌ترتیب مربوط نوامبر و ژوئن بود. لذا می‌توان گفت کـه پتانسیل بالای انرژی باد منطقـه بـا اوج مصـرف بـرق کشـور کـه در ماه‌های گرم سال رخ می‌دهد تقارن زمانی دارد. علاوه بـر آن، مقـدار انرژی باد، محتمل‌ترین سرعت و بیشینه توان نیز محاسبه گردید.

۵- بیشترین فراوانی جهت باد جنـوب شـرقی و سـپس غربـی و کمترین فراوانی باد در طی سال از سمت شمال شرقی و در مرتبه بعد شمالی بود.

References

1. Akpinar, E. K. 2006. A statistical investigation of wind energy potential. Energy Sources 28 (9): 807-820.
2. Alamdari, P., O. Nematollahi, and M. Mirhosseini. 2012. Assessment of wind energy in Iran: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews 16 (1): 836-860.
3. Al-Mohamad, A., and H. Karmeh. 2003. Wind energy potential in Syria. Renewable Energy 28 (7): 1039-1046.
4. Carrillo, C., J. Cidrás, E. Díaz-Dorado, and A. F. Obando-Montaño. 2014. An approach to determine the Weibull parameters for wind energy analysis: the case of Galicia (Spain). Energies 7 (4): 2676-2700.
5. Celik, A. N. 2004. A statistical analysis of wind power density based on the Weibull and Rayleigh models at the southern region of Turkey. Renewable Energy 29 (4): 593-604.
6. Cook, N. J. 2001. Discussion on modern estimation of the parameters of the Weibull wind speed distribution for wind speed energy analysis. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. 89 (10): 867-869.
7. Council, G. W. E. 2009. Global wind 2008 report. Global Wind Energy Council, Brussels, Belgium, and Greenpeace, Amsterdam, The Netherlands.

8. Dabbaghiyan, A., F. Fazelpour, M. D. Abnavi, and M. A. Rosen. 2016. Evaluation of wind energy potential in province of Bushehr, Iran. Renewable and Sustainable Energy Reviews 55: 455-466.
9. Diaf, S., and G. Notton. 2013. Evaluation of electricity generation and energy cost of wind energy conversion systems in southern Algeria. Renewable and Sustainable Energy Reviews 23: 379-390.
10. Electric Power Industry Statistics, Available at http://amar.tavanir.org.ir.
11. Fazelpour, F., N. Soltani, S. Soltani, and M. A. Rosen. 2015. Assessment of wind energy potential and economics in the north-western Iranian cities of Tabriz and Ardabil. Renewable and Sustainable Energy Reviews 45: 87-99.
12. Gabbasa, M., K. Sopian, Z. Yaakob, M. R. F. Zonooz, A. Fudholi, and N. Asim. 2013. Review of the energy supply status for sustainable development in the Organization of Islamic Conference. Renewable and Sustainable Energy Reviews 28: 18-28.
13. Hennessey, J. P. 1977. Some Aspects of Wind Power Statistics. Journal of Applied Meteorology and Climatology 16: 119-128.
14. Jalalvand, M., H. Bakhoda, and M. Almasi. 2014. Evaluation and feasibility of wind power for supplying of agricultural electric pumps in Boroujerd area. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 368-377. (In Farsi).
15. Keyhani, A., M. Ghasemi-Varnamkhasti, M. Khanali, and R. Abbaszadeh. 2010. An assessment of wind energy potential as a power generation source in the capital of Iran, Tehran. Energy 35 (1): 188-201.
16. Khosroshahi, K. A., S. Jadid, and M. Shahidehpour. 2009. Electric power restructuring in Iran: achievements and challenges. The Electricity Journal 22 (2): 74-83.
17. Manwell, J. F., J. G. McGowan, and A. L. 2002. Wind energy explained: theory, design and application. John Wiley & Sons. Amherst, USA.
18. Mohammadi, K., O. Alavi, A. Mostafaeipour, N. Goudarzi, and M. Jalilvand. 2016. Assessing different parameters estimation methods of Weibull distribution to compute wind power density. Energy Conversion and Management 108: 322-335.
19. Mostafaeipour, A., A. Sedaghat, M. Ghalishooyan, Y. Dinpashoh, M. Mirhosseini, M. Sefid, and M. Pour-Rezaei. 2013. Evaluation of wind energy potential as a power generation source for electricity production in Binalood, Iran. Renewable Energy 52: 222-229.
20. Pishgar-Komleh, S. H., A. Keyhani, and P. Sefeedpari. 2015. Wind speed and power density analysis based on Weibull and Rayleigh distributions (a case study: Firouzkooh county of Iran). Renewable and Sustainable Energy Reviews 42: 313-322.
21. Salahi, B. 2004. A potential survey on wind energy and real probability fitting of wind incidence using Weibull distribution function in isometropia stations of Ardabil province. Geographical Researches 72. (In Farsi).
22. Sefeedpari, P., A. Keyhani, Sh. Pishgar-Komleh, M. Khanali, and A. Akram. 2016. Assessment of wind energy production with statistical analysis of wind characteristics. Iranian Journal of Biosystem Engineering 47 (3): 469-483. (In Farsi).
23. Sherbafian, N. 2008. Evaluating wind power potential and its effect on economy. Quarterly Energy Economics Review 5 (17): 113-140. (In Farsi).
24. Watts, D., N. Oses, and R. Pérez. 2016. Assessment of wind energy potential in Chile: A project-based regional wind supply function approach. Renewable Energy 96: 738-755.
25. Yaniktepe, B., T. Koroglu, and M. M. Savrun. 2013. Investigation of wind characteristics and wind energy potential in Osmaniye, Turkey. Renewable and Sustainable Energy Reviews 21: 703-711.
26. Yue, C. D. and S. S. Wang. 2006. GIS-based evaluation of multifarious local renewable energy sources: a case study of the Chigu area of southwestern Taiwan. Energy Policy 34 (6): 730-742.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 9, No. 1, Spring - Summer 2019, p. 195-208

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد ۹، شماره ۱، نیمسال اول ۱۳۹۸، ص ۲۰۸-۱۹۵

Study of Potential, Characteristics and Parameters of the Wind Energy Case study: Dehloran County

A. Omidi[1*]- R. Alimardani[2]- M. Khanali[3]

Received: 05-06-2017
Accepted: 15-10-2017

Introduction

Geographical location and climatic conditions are the important factors affecting the wind energy potential of each region. Iran is a vast country with different climates and the exploitation of its wind energy needs to study and research on the meteorological data. In the study area during the warm season and the hottest hours of the day, coinciding with peak electricity consumption in the region and the country, wind blowing continuously carried out. The surpassed consumption over production of electricity in summer and vice versa in winter is considered as one of the country's problems. The aim of this study was to investigate the parameters of the wind energy and the feasibility of wind potential (in study area) in the warm season in particular and other seasons to supply the needed electrical power of area, avoid of unwanted blackouts, development of wind energy as an important renewable energy, attraction of investors, and policymakers to build wind farms in the study area.

Materials and Methods

This study was conducted in the Dehloran city, located in the southern part of Ilam province. The region has a temperate winter and very hot and dry summer. The important criteria for construction of wind power plants and using of its energy are wind power density and the annual wind speed average. For this reason and analysis, and statistical analyzes, wind data includes three-hour direction and speed were obtained from the meteorological organization and during 2004 to 2013. The average of annual, monthly and daily wind speed and their standard deviation were calculated. Based on the commercial turbines in the country, and the rotor blades are at altitudes up to about 80 meters, the wind speed at altitudes of 40, 60 and 80 meters was calculated. To evaluate the potential of wind speed the Rayleigh and Weibull distribution functions were used and their parameters were calculated. The wind energy potential using the available data and the Weibull and Rayleigh functions were calculated.

Results and Discussion

Based on the results of the ten-year data, average of wind speed had relatively slight variation, with the highest and the lowest value of 3.6 and 3.25 m/s in 2007 and 2010, respectively. The annual average was about 6 m/s in height of 50 meters that seems appropriate. The highest and the lowest monthly average values were 4.62 m/s and 2.24 m s^{-1} in June 2005 and November 2006, respectively. Generally, the warm months had significantly higher wind speed than that of cold months. The Weibull distribution function parameters, k and c were calculated. Minimum and maximum amount of k were 1 and 1.828, in December 2006 and May 2011, respectively. The minimum and maximum amount of c was 2.37 and 5.69 in November 2004 and June 2013, respectively. The highest value of wind power density was 312 w m^{-2} in June. The lowest power density was observed in November. Therefore, we can say that the wind energy potential of the region has coincident with peak electricity consumption in the warm months. The most frequent and the least frequent wind direction were the southeast and northeast, respectively.

1- Ph.D. Candidate of Mechanics of farm machinery, Department of Faculty of College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

2- Professor, Department of Faculty of College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

3- Assistant Professor, Department of Faculty of College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

(*- Corresponding Author Email: ahmad_omidi1391@ut.ac.ir)

Conclusions

Daily evaluation of wind speed during different months, seasons and years showed a significant change during the day that represented the high value of the wind speed in noon and afternoon. The highest value of monthly wind energy density was for the warm season. The lowest and highest power density was in November and June, respectively. Therefore, we can say that the peak of wind energy potential of the region has a coincident with the country's peak power consumption in warm months. With considering that the study area has a warm climate and high consumption of energy in the hot days of a year and the probability of unwanted blackout of electricity in warm months, and the long hours of the wind blowing in the mentioned times, construction of wind farm in these areas can be reasonable.

Keywords: Weibull distribution function, Wind direction, Wind energy, Wind speed